

10/586 909
19 NOV 2007

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/001645

International filing date: 28 January 2005 (28.01.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-022668
Filing date: 30 January 2004 (30.01.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 24 March 2005 (24.03.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

02.3.2005

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 4 年 ・ 1 月 3 0 日
Date of Application:

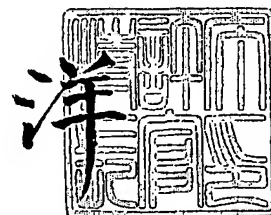
出 願 番 号 特 願 2 0 0 4 - 0 2 2 6 6 8
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 4 - 0 2 2 6 6 8]

出 願 人 昭 和 電 工 株 式 有 限 公 司
Applicant(s):

2 0 0 5 年 1 月 3 1 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



出証番号 出証特 2 0 0 5 - 3 0 0 4 8 1 7

【書類名】 特許願
【整理番号】 11H160025
【提出日】 平成16年 1月30日
【あて先】 特許庁長官 今井 康夫 殿
【国際特許分類】 H01L 33/00
【発明者】
 【住所又は居所】 千葉県市原市八幡海岸通5-1 昭和電工株式会社 電子材料事業部内
 【氏名】 村木 典孝
【発明者】
 【住所又は居所】 千葉県市原市八幡海岸通5-1 昭和電工株式会社 電子材料事業部内
 【氏名】 渡邊 宗隆
【発明者】
 【住所又は居所】 千葉県市原市八幡海岸通5-1 昭和電工株式会社 電子材料事業部内
 【氏名】 三木 久幸
【発明者】
 【住所又は居所】 千葉県市原市八幡海岸通5-1 昭和電工株式会社 電子材料事業部内
 【氏名】 大野 泰
【特許出願人】
 【識別番号】 000002004
 【氏名又は名称】 昭和電工株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100118740
 【住所又は居所】 東京都港区芝大門1丁目13番9号
 【氏名又は名称】 柿沼 伸司
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 010227
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1

【書類名】特許請求の範囲

【請求項 1】

結晶基板の裏面側に発光層からの発光を外部へ反射するための金属反射鏡を有し、結晶基板の表面側に窒化ガリウム系化合物半導体からなる障壁層と井戸層とから構成される量子井戸構造の発光層と、発光層に駆動電流を供給するオーミック電極を設けるための I I I - V 族化合物半導体からなるコンタクト層を有し、コンタクト層上にはコンタクト層の一部の領域を露出する開口部のあるオーミック電極を有し、オーミック電極は発光層からの光に対して透光性を有し、井戸層はその層内で部分的に膜厚の厚い領域と薄い領域を有する窒化ガリウム系化合物半導体から構成されていることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 2】

井戸層の膜厚が、同層内の一部の領域において $1.5 \text{ nm} \sim 0 \text{ nm}$ の範囲内となっていることを特徴とする請求項 1 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 3】

障壁層または井戸層の何れか一方の層には、不純物が添加されていることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 4】

障壁層にのみに不純物がドーピングされていることを特徴とする請求項 3 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 5】

障壁層にのみ添加する不純物が、珪素であることを特徴とする請求項 4 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 6】

コンタクト層は、n 型の不純物が添加され、キャリア濃度が $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の範囲内であることを特徴とする請求項 1 ～ 5 の何れか 1 項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 7】

コンタクト層は、p 型の不純物が添加され、キャリア濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の範囲内であることを特徴とする請求項 1 ～ 6 の何れか 1 項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 8】

コンタクト層は、p 型の不純物が添加され、キャリア濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の範囲内であることを特徴とする請求項 7 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 9】

コンタクト層の膜厚が、 $1 \mu\text{m} \sim 3 \mu\text{m}$ の範囲内であることを特徴とする請求項 1 ～ 8 の何れか 1 項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 10】

オーミック電極の発光波長に対する透過率が 30% 以上であることを特徴とする請求項 1 ～ 9 の何れか 1 項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 11】

オーミック電極の厚さが、 $1 \text{ nm} \sim 100 \text{ nm}$ の範囲内であることを特徴とする請求項 1 ～ 10 の何れか 1 項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 12】

金属反射鏡が、オーミック電極と同一の金属材料を含むことを特徴とする請求項 1 ～ 11 の何れか 1 項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 13】

金属反射鏡が、オーミック電極を構成する金属材料と同一の材料からなる金属膜を含む多層構造から構成されていることを特徴とする請求項 12 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項14】

金属反射鏡が、銀、白金、ロジウム、アルミニウムからなる群から選ばれる何れか1種以上の単体金属膜、または合金膜を含むことを特徴とする請求項1～13の何れか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項15】

金属反射鏡が、多層膜であることを特徴とする請求項1～14の何れか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項16】

請求項1～15のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を用いた発光ダイオード。

【請求項17】

請求項1～16のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を用いたランプ。

【書類名】明細書

【発明の名称】窒化ガリウム系化合物半導体発光素子

【技術分野】

【0001】

本発明は、量子井戸構造などの超格子構造の発光層と、オーミック電極を形成するためのコンタクト層と、発光層から放射される発光を外部へ反射させるための金属反射鏡とを備えた窒化ガリウム (GaN) 系化合物半導体発光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、青色帯或いは緑色帯の発光を放射する短波長光発光素子用の半導体材料として窒化ガリウム (GaN) 系化合物半導体が注目を集めている (例えば、特許文献1参照)。GaN系化合物半導体は、サファイア ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 単結晶) に加えて、種々の酸化物単結晶やIII-V族化合物半導体単結晶を基板として、その上に有機金属化学的気相堆積 (MOCVD) 法や分子線エピタキシー (MBE) 法等に依り、もっぱら形成されている。例えば、発光層は、このような気相成長手段を利用して形成したGaN系化合物半導体からなる障壁 (barrier) 層と井戸 (well) 層とからなる量子井戸 (quantum well: QW) 構造から構成されるものとなっている。例えば、窒化ガリウム・インジウム (組成式 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$: $0 \leq y, z \leq 1, y+z=1$) 井戸層とGaNからなる障壁層とからなる単一 (SQW) または多重 (MQW) 量子井戸構造から発光層が構成されている。

【0003】

LED或いはレーザダイオード (LD) 等の発光素子を構成するには、発光層に素子を駆動するための電流 (素子駆動電流) を流通させるための正 (+) 極及び負 (-) 極のオーミック電極を設ける必要がある。サファイア等の電気的に絶縁体の基板を用いて、発光ダイオード (LED) 等のGaN系化合物半導体発光素子を形成するに際し、炭化珪素 (SiC)、砒化ガリウム (GaAs) やリン化ガリウム (GaP) 等の導電性半導体基板を使用した場合とは異なって、基板の表、裏面にオーミック電極を設けることができない。依って、正及び負の一对の極性のオーミック電極を基板の一方の表面側に形成されている。

【0004】

何れにしても、GaN系化合物半導体発光素子を構成するためのGaN系化合物半導体は、所謂、ワイドバンドギャップ (広禁止帯幅) 材料であり、低い接触抵抗のオーミック電極を安定して形成し難い。このため、通常は、コンタクト層と通称される低抵抗層を利用してn型またはp型オーミック電極が設けられている。特に、発光層からの発光を外部へ取り出す方向に在るp型GaN系化合物半導体層に設けるp型オーミック電極は、p型GaN系化合物半導体層の略全面に配置された、非常に薄い金属膜から構成されるものとなっている (例えば、特許文献2参照)。

【0005】

例えば、特開平6-314822号公報 (前出の特許文献2) に記載されている発明では、上記の透光性の電極を構成するための金属材料として、膜厚を $0.001\mu\text{m} \sim 1\mu\text{m}$ と薄くした、例えば、金 (Au)、ニッケル (Ni)、白金 (Pt)、インジウム (In)、クロム (Cr)、及びチタン (Ti) 等から透光性のオーミック電極を構成する技術が開示されている。また、発光の外部への取り出し方向に設けるオーミック電極を、透光性となす材料から取替えて形成するのは、発光層から放射される発光が吸収される度合いを低減して、外部へ効率的に発光を取り出すためである。

【0006】

オーミック電極を上記の如く、透光性の電極材料から構成するに加えて、外部への発光の取り出し効率を向上させる技術手段も知れている (例えば、特許文献3参照)。それは、特に、発光の波長に対して光学的に透明な結晶材料を基板とする場合にあって、発光素子用途の積層構造体を設ける基板の表面とは反対の、基板の裏面に発光を外部の視野方向

に反射する反射鏡を設ける技術である。反射鏡は、もっぱら、金属膜から構成されるものとなっている。

【特許文献1】特公昭55-3834号公報

【特許文献2】特開平6-314822号公報

【特許文献3】特開平9-36427号公報

【特許文献4】特開2003-133589号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、発光層を単純に、単一或いは多重量子井戸構造から構成したところで、強度的に優れる発光をもたらす発光層を構成できるとは限らない。高強度の発光を得るためには、本発明者らが鋭意、検討した結果に依れば、(1) 量子井戸構造をなす井戸層の層厚、及び(2) 障壁層内のドーパント(ドーピング不純物)の有無が係わっていることが判明した。

【0008】

また、発光層からの発光を外部へ効率的に取り出す一技術手段として、透光性電極を、網状或いは櫛状の平面形状とする技術がある(例えば、特許文献4参照。)。しかし、このような発光を吸収しない開口部を設けた透光性電極の場合、開口部を設けんがために、オーミック電極を敷設された面積が減少し、却って、素子駆動電圧(順方向電圧)が上昇するという問題があった。従って、開口部を持つ透光性電極を採用しても尚、例えば、3ボルト(V)程度の実用的な順方向電圧を与えるオーミック電極を形成できる技術手段が必要とされていた。

【0009】

本発明は、上記の技術課題を克服して、高強度の発光をもたらす構成からなる量子井戸構造の発光層を備えたGa_xN系化合物半導体発光素子を提供する。また、特に、開口部を有する透光性電極を設けた場合に於ける、例えば、順方向電圧の徒な増加を回避できる、キャリア濃度並びにその層厚を適正としたコンタクト層を備えたGa_xN系化合物半導体発光素子を提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

即ち本発明は、以下に関する。

〔1〕 結晶基板の裏面側に発光層からの発光を外部へ反射するための金属反射鏡を有し、結晶基板の表面側に窒化ガリウム系化合物半導体からなる障壁層と井戸層とから構成される量子井戸構造の発光層と、発光層に駆動電流を供給するオーミック電極を設けるためのIII-V族化合物半導体からなるコンタクト層を有し、コンタクト層上にはコンタクト層の一部の領域を露出する開口部のあるオーミック電極を有し、オーミック電極は発光層からの光に対して透光性を有し、井戸層はその層内で部分的に膜厚の厚い領域と薄い領域を有する窒化ガリウム系化合物半導体から構成されていることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

〔2〕 井戸層の膜厚が、同層内の一部の領域において1.5nm～0nmの範囲内となっていることを特徴とする〔1〕に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

〔3〕 障壁層または井戸層の何れか一方の層には、不純物が添加されていることを特徴とする〔1〕または〔2〕に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

〔4〕 障壁層にのみに不純物がドーピングされていることを特徴とする〔3〕に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

〔5〕 障壁層にのみ添加する不純物が、珪素であることを特徴とする〔4〕に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

〔6〕 コンタクト層は、n型の不純物が添加され、キャリア濃度が $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ～ $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の範囲内であることを特徴とする〔1〕～〔5〕の何れか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

〔7〕コンタクト層は、p型の不純物が添加され、キャリア濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ~ $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の範囲内であることを特徴とする〔1〕～〔6〕の何れか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

〔8〕コンタクト層は、p型の不純物が添加され、キャリア濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ~ $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の範囲内であることを特徴とする〔7〕に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

〔9〕コンタクト層の膜厚が、 $1 \mu\text{m}$ ~ $3 \mu\text{m}$ の範囲内であることを特徴とする〔1〕～〔8〕の何れか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

〔10〕オーミック電極の発光波長に対する透過率が30%以上であることを特徴とする〔1〕～〔9〕の何れか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

〔11〕オーミック電極の厚さが、 1 nm ~ 100 nm の範囲内であることを特徴とする〔1〕～〔10〕の何れか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

〔12〕金属反射鏡が、オーミック電極と同一の金属材料を含むことを特徴とする〔1〕～〔11〕の何れか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

〔13〕金属反射鏡が、オーミック電極を構成する金属材料と同一の材料からなる金属膜を含む多層構造から構成されていることを特徴とする〔12〕に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

〔14〕金属反射鏡が、銀、白金、ロジウム、アルミニウムからなる群から選ばれる何れか1種以上の単体金属膜、または合金膜を含むことを特徴とする〔1〕～〔13〕の何れか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

〔15〕金属反射鏡が、多層膜であることを特徴とする〔1〕～〔14〕の何れか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

〔16〕〔1〕～〔15〕のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を用いた発光ダイオード。

〔17〕〔1〕～〔16〕のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を用いたランプ。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、出力が良好な開口部を持つ透光性電極を用いても、駆動電圧が良好な発光素子を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

本発明の量子井戸構造の発光層は、サファイア、4H結晶型または6H結晶型の六方晶(hexagonal)SiCやウルツ鉱結晶型(wurtzite)GaNや酸化亜鉛(ZnO)などの六方晶の単結晶を基板として形成できる。また、GaP、GaAs及びSi等の閃亜鉛鉱結晶型(zinc-blende)の半導体単結晶を基板として利用できる。六方晶或いは立方晶のGaNの基板を除いて、発光層をなす窒化ガリウム系化合物半導体層は、一般に、格子不整合の関係にある基板上に設けられる。基板との格子ミスマッチを緩和するために、基板と量子井戸構造の発光層との中間に、低温緩衝(バッファ)層を設けても構わない。或いは、シーディングプロセス(Seeding Process: SP)法に依る格子不整合結晶系エピタキシャル成長技術を用いて、低温緩衝層を要せずに、発光層をなすGaN系化合物半導体層を形成することができる。特に、GaN系化合物半導体層を成長させるための高温領域で、サファイア等の基板表面に、格子ミスマッチ度の大きな例えば、窒化アルミニウム(AlN)単結晶膜を直接、成長できるSP法は、発光層等の成長工程の簡略化をもたらせるため、GaN系化合物半導体発光素子の生産性の向上などに貢献できる。

【0013】

本発明の発光層は、n型またはp型のGaN系化合物半導体からなる例えば、下地層を介して設けるのが好適である。例えば、約600℃以下の低温で成長した低温緩衝(buffer)層上に設けた、n型GaNからなる下地層を介して設ける。また、サファイア

等の基板表面に、上記のSP法を利用して、直接、成長させたn型GaN層を介して設ける。SP法を用いた成長の場合、n型の伝導を呈するGaN層にあつては、アンドープ(undoped)層であるか、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の低いキャリア濃度であることが望ましい。下地層の膜厚は、 $1 \mu\text{m}$ 以上であることが望ましく、 $5 \mu\text{m}$ 以上であることが更に好適である。

【0014】

量子井戸構造の発光層をなす障壁層以上の禁止帯幅を有するGaN系化合物半導体から構成した下地層は、下部クラッド(clad)層として利用できる。クラッド層を兼用する下地層は、窒化アルミニウム・ガリウム(組成式 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$: $0 \leq X, Y \leq 1, X+Y=1$)、GaN、 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ ($0 \leq Y, Z \leq 1, Y+Z=1$)などから形成できる。また下部クラッド層には、構成元素の組成比や格子定数を相違するGaN系化合物半導体層を交互に積層させてなる、周期的重層構造を含ませても構わない。例えば、 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$ ($0 \leq X, Y \leq 1, X+Y=1$)、と $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ ($0 \leq Y, Z \leq 1, Y+Z=1$)とを交互に積層させたヘテロ(異種)重層構造は、ミスフィット(misfit)転位のより上部への伝搬を抑制する作用を有し、結晶性に優れる発光層をもたらすに効果を奏する。この様な効果は、また、下部クラッド層全体を、その様な重層構造から構成しても差し支えない。重層構造は、ドーピングする不純物量や膜厚を相違するGaN系化合物半導体層を交互に積層させても構成できる。

【0015】

下部クラッド層には、オーミック電極を形成するコンタクト層を接合させて設けることができる。下部クラッド層とコンタクト層とは、同一の伝導型のGaN系化合物半導体から構成する。例えば、n型の下地層上には、n型のコンタクト層を設ける。この場合、コンタクト層を量子井戸構造の発光層をなす障壁層よりも禁止帯幅の大きなGaN系化合物半導体層から構成すると、下部クラッド層を兼用するコンタクト層を構成できる。また、n型下部クラッド層には、n型のコンタクト層を設ける。此の場合、コンタクト層のキャリア濃度は、下部クラッド層と同等でも良いが、より大きいと低い接触抵抗のオーミック電極を形成するに好都合となる。n型コンタクト層は、キャリア濃度を $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ から $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ とするn型窒化ガリウム系化合物半導体から好適に構成できる。キャリア濃度を上記の範囲とすることで、開口部を持つ透光性電極を使用した場合でも、順方向電流を20mAとした場合に於いて2.9V以上で3.3V以下の範囲にある低い順方向電圧を呈するGaN系化合物半導体発光素子を安定して得ることが可能となる。

【0016】

コンタクト層は、例えば、下部クラッド層の下部に配置することが出来る。しかし、格子不整合の関係にある結晶基板により近接させたコンタクト層は、結晶基板との格子ミスマッチの影響を受けて、例えば、ミスフィット転位等の結晶欠陥の密度の高い層となる。この様な結晶欠陥の多い結晶層上にオーミック電極を設けたところで、電気的特性に優れるオーミック電極が安定して得られるとは限らない。例えば、転位を介した局所的な耐圧不良(local breakdown)が引き起こす電極が帰結されることとなり不都合となる。また、コンタクト層を、窒素以外の第V族元素を含む例えば、組成式 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}_{1-a}\text{M}_a$ ($0 \leq X, Y, Z \leq 1, X+Y+Z=1$ 、記号Mは窒素以外の第V族元素を表し、 $0 \leq a < 1$ である。)で表せるGaN系化合物半導体から構成すると、局所的な耐圧不良の少ないオーミック電極が構成できる利点がある。また、n型コンタクト層の膜厚を、 $1 \mu\text{m}$ 以上と厚くすると、順方向電圧を低減させるに効果を上げられる。 $3 \mu\text{m}$ 以上の層厚とすると、却って、表面の平坦性が悪化するため、密着性の強いオーミック電極を設けるに支障を来す。

【0017】

下部クラッド層、コンタクト層上には、量子井戸構造の発光層を設ける。例えば、 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$ ($0 \leq X, Y \leq 1, X+Y=1$)からなる障壁層と $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ ($0 \leq Y, Z \leq 1, Y+Z=1$)からなる井戸層とで単一または多重量子井戸構造を構成する。障壁

層と井戸層とは、キャリア濃度は相違しても差し支えはないが、同一の伝導型のGaN系化合物半導体から構成する。本発明では、井戸層は、従来の如く膜厚を略均一とするのではなく、部分的に層厚が薄い領域を含んだ層厚を不均一とするGaN系化合物半導体層から構成する。特に、層厚が1.5nm以下である領域を部分的に含むインジウム含有GaN系化合物半導体から構成するのが好ましい。1.5nm以下の膜厚を有する領域は、井戸層の内部全体に均等に存在している必要はなく、井戸層の内部の一部に偏在していても良い。井戸層は連続的な層となっている必要は必ずしも無く、井戸層が存在しない領域、即ち、膜厚が0(零)である領域が存在していても構わない。

【0018】

この様な、部分的に膜厚を薄くした、層厚の不均一な井戸層は、それを成膜する際の成膜系への第V族原料の供給方法を独特とすることで形成され得る。例えば、 $GaYIn_zN$ ($0 \leq Y, Z \leq 1, Y+Z=1$) からなる井戸層を成膜するに際し、成膜中に常時一定の量の窒素の原料を供給するのではなく、経時的に窒素の原料の供給量を変化させると形成できる。特に、窒素原料の供給量を周期的に減少させると効率的に形成できる。井戸層を成膜するための成長時間内に於いて、例えば、1秒間毎に供給する窒素原料を増減させる。減少させるとしても、成長層から窒素の揮散を抑制できる防止できる供給量は維持する。窒素原料が不足した成長環境をより長く継続すると、層厚の薄い領域を同一の井戸層内により多く形成できる。構成元素としての窒素の不足が超時間に亘ると、第III族構成元素が凝縮して液滴となる度合いが高まり、その液滴の周囲では、第III族元素が不足するため、従って、形成される膜の膜厚は薄くなると推定される。井戸層内部の層厚の薄い領域の存在とその領域の層厚は、例えば、透過型電子顕微鏡(TEM)を使用した断面TEM技法で、井戸層の断面を観察すれば知れる。

【0019】

また、井戸層の成長の初期に、窒素等の第V族構成の原料の成膜系への供給量を故意に減ずると、不均一な層厚の井戸層を形成し得る。例えば、トリメチルガリウム(分子式 $(CH_3)_3Ga$)とアンモニア(分子式 NH_3)とを構成元素の原料とする常圧(略大気圧)或いは減圧MOCVD法に依り、例えば、 $GaYIn_zN$ ($0 \leq Y, Z \leq 1, Y+Z=1$) 井戸層を成膜するに際し、その成膜初期の段階に於いて、所謂、 V/III 比率(成膜系へ供給する第III族構成原料の濃度に対する第V族構成元素原料の濃度の比率、即ち、 $NH_3 / (CH_3)_3Ga$ 濃度比率)を 1×10^3 以上で 1×10^4 以下とする。更に好ましくは、 2×10^3 以上で 5×10^3 以下の範囲とする。この様な比較的に低い V/III 比率で成膜を続行するのは、時間的に長くとも、成長が開始された時点から予定の膜厚の $1/3$ に達する迄に止めておくのが望ましい。所望の膜厚に至る迄、低 V/III 比率で成長を継続すると、層状とはならず、単に第III族構成元素を富裕に含む液滴が例えば、下部クラッド層、コンタクト層、或いはまた障壁層の表面上に形成されるのみとなる。

【0020】

上記の何れの成長手法に依らず、部分的に膜厚が薄い領域を含む、層厚を不均一とする井戸層を利用した量子井戸構造の発光層は、GaN系化合物半導体発光素子の順方向電圧を低下させる作用を有する。例えば、従来例の如く、開口部を設けることに依り、コンタクト層等との接触面積が削減された透光性電極、開口率を70%とする透光性電極を使用した場合でも、例えば、順方向電流を20mAとした際に、3.3V以下の低い順方向電圧をもたらすGaN系化合物半導体発光素子を提供できる。尚、此处で開口率とは、開口部を設けた透光性電極にあって、それを設けた層の表面積に対する、電極の開口された領域の平面積の比率である。

【0021】

順方向電圧は、更に、不純物を故意に添加(ドーピング)した井戸層或いは障壁層を用いて構成した量子井戸構造の発光層を用いれば、低減できる。例えば、n型不純物をドーピングした井戸層を含む量子井戸構造の発光層を利用すれば、低順方向電圧のGaN系化合物半導体発光素子をもたらすに効果を奏する。不純物がドーピングされた、低抵抗の井

戸層は、順方向電圧を低下させる作用をもたらす。数量的に限られた井戸層を用いて発光層をなす量子井戸構造を構成する場合、不純物をドーピングして低抵抗とした井戸層を数多く用いる程、順方向電圧を低下させるに効果がある。しかしながら、不純物の添加に因り、結晶性が悪化して、所望とは異なる波長の発光が帰結される場合がある。従って、例えば、n型井戸層である場合、p型クラッド層に最も近接した井戸層は、不純物を故意に添加していないアンドープの井戸層とするのが好都合である。

【0022】

量子井戸構造の発光層を、不純物をドーピングした井戸層を含む構成とした場合、上記の様に、順方向電圧を低減するに効果が挙げられ一方で、所望の波長の発光が得られない場合もある。所望の波長の発光をもたらす、且つ、順方向電圧の低いGaN系化合物半導体発光素子を得るには、不純物をドーピングした障壁層を用いて量子井戸構造の発光層を構成するのが効果的である。井戸層の場合とは相違して、量子井戸構造を構成するための数量的に全ての障壁層を、不純物がドーピングされた低抵抗のGaN系化合物半導体から構成するのが、発光波長に変化を来さずに、順方向電圧の低い発光素子を得るに最も効果的である。例えば、n型障壁層としては、第Ⅲ族元素がドーピングされ、その元素の層内での平均の原子濃度を、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上で、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下の範囲とする低抵抗導電層が好ましく用いられる。

【0023】

例えば、低抵抗のn型GaNコンタクト層上に設けた、5つの珪素(Si)がドーピングされたn型GaN障壁層と、5つのアンドープGaInN井戸層とを交互に積層して構成した5周期の量子井戸構造の発光層を用いると、前出の様な開口率を有する開口部を持つ透光性電極を設けた場合でも、20mAの順方向電流を通流した場合でも、順方向電圧を3.3V以下とするGaN系化合物半導体発光素子が得られる。不純物をドーピングした低抵抗の障壁層を用いることとすれば、例えば、コンタクト層或いは下部クラッド層と接合する層が、障壁層であっても井戸層であっても、順方向電圧の低減に関し、同様の効果が発揮される。

【0024】

不純物がドーピングされた低抵抗のGaN系化合物半導体層を障壁層として含む量子井戸構造の発光層は、その始端が井戸層であるか障壁層、またその終端が障壁層であるか井戸層であるかに拘わらず、順方向電圧の低減に効果がある。

【0025】

本発明に係わる不純物をドーピングした低抵抗のGaN系化合物半導体層からなる障壁層を含む量子井戸構造の発光層は、MOCVD法に加え、例えば、分子線エピタキシャル(MBE)法、ハイドライド(水素化物)気相エピタキシャル成長(VPE)法等の気相成長手段で形成できる。珪素(Si)やゲルマニウム(Ge)をドーピングした障壁層を形成するには、気相成長時にシラン(分子式: SiH_4)やジシラン(分子式: Si_2H_6)、ゲルマン(分子式: GeH_4)等をドーピングガスとして利用して添加する。障壁層をGaN層とし、井戸層をGaInN層とする量子井戸構造を形成するには、650℃~900℃が適する。この構成からなる量子井戸構造の場合、障壁層と井戸層とは略同一の成長温度で形成できる。障壁層を、GaNに代替して、アルミニウム(Al)を含むAlxGayNから構成する際には、成長温度を、GaN障壁層の場合より高温とするのが得策である。

【0026】

本発明の量子井戸構造をなす井戸層の層厚は、1nm以上で15nm以下とするのが適する。障壁層の層厚は、10nm以上で50nm以下とするのが適する。障壁層の層厚を、井戸層を層厚に対応して減ずる必要は必ずしも無い。量子井戸構造を構成する井戸層の数は、5以上で20以下とするのが適当である。本発明に係わる井戸層の層厚は、領域的に不均一であるため、井戸層の数が増加すると共に、井戸層の層厚の不均一さに起因する、量子井戸構造の発光層の表面の凹凸は増加する。従って、層厚が厚い井戸層を用いる場合程、量子井戸構造の構成に用いる井戸層の数は減少させると、発光層上に表面の平坦な

上層、例えば、p型上部クラッド層を形成するに好都合となる。

【0027】

本発明に係わる量子井戸構造の発光層の上方の発光の取り出し方向に設ける、所謂、クラッド層は、 $Al_xGa_yIn_zN_{1-a}M_a$ ($0 \leq X, Y, Z \leq 1$, $X+Y+Z=1$ 、記号Mは窒素以外の第V族元素を表し、 $0 \leq a < 1$ である。)から構成できる。例えば、p型クラッド層は、第III族元素をp型不純物としてドーピングした Al_xGa_yN ($0 \leq X, Y \leq 1$, $X+Y=1$)等から構成できる。p型クラッド層は、発光層に流入する電子のオーバーフロー(overflow)を防ぎ、発光層の内部で、発光をもたらす放射再結合を効率的に起こすために、量子井戸構造をなす障壁層よりも大きなバンドギャップ(禁止帯幅)の半導体材料から形成することが望ましい。量子井戸構造の障壁層よりも禁止帯幅を大とする半導体材料からなる発光の取り出し方向にある上部クラッド層はまた、発光層からの発光を外部へ取り出すに有効となる。また、発光層に放射再結合をもたらすキャリアを効率的に注入できるように、高いキャリア濃度の低抵抗層であることが望ましい。

【0028】

前記した下部クラッド層の場合と同様に、組成比や格子定数の異なる薄膜層を、交互に積層させた重層構造体を含む上部クラッド層は、下方より伝搬して来る貫通転位のより上方への伝搬を抑止する作用を有する。転位の貫通を抑止する作用は、例えば、ドーパントの濃度や膜厚などを変化させたGaN系化合物半導体層を積層させた重層構造体からなる上部クラッド層からも構成できる。この様な重層構造は、歪み係わる臨界膜厚以下の薄膜層を積層した際に最も好適に構成できる。例えば、層厚を5nmとするGaN層と、層厚を5nm以下とし、インジウム組成比が0を超え、0.2以下である Ga_yIn_zN ($0 < Y \leq 0.2$, $Y+Z=1$)層とから構成される重層構造がある。

【0029】

p型の上部クラッド層はまた、燐化ホウ素系半導体材料から構成することができる。燐化硼素系材料とは、硼素(元素記号:B)とリン(元素記号:P)とを構成元素として含むIII-V族化合物半導体材料である。特に、MOCVD法に依り気相成長させた、室温での禁止帯幅を3.5エレクトロンボルト(単位:eV)以上とする単量体の燐化硼素(BP)は、短波長の発光を外部へ十分に透過でき、尚且つ、低抵抗のp型クラッド層を構成するに好適である。しかも、単量体の燐化ホウ素からは、アンドープであっても、アズグロウン(as-grown)状態で容易に低抵抗層を構成できる。即ち、燐化硼素からは、気相成長後にわざわざ、熱処理を施して、ドーピングしたp型不純物を電気的に活性化(アクセプタ化)させる煩雑な操作を必要とする $Al_xGa_yIn_zN$ とは異なり、容易に且つ簡便にp型伝導性を示す低抵抗層を形成できる。

【0030】

また、上部クラッド層上に、直接、オーミック電極を設けるのではなく、低抵抗のコンタクト層を介して設けることとすると、より低い接触抵抗のオーミック電極を形成できる。従って、順方向電圧の低いGaN系化合物半導体発光素子を構成するに貢献できる。上部クラッド層に付帯させて設けるコンタクト層は、前記の下部クラッド層に付帯するコンタクト層とは、反対の伝導型のGaN系或いは燐化硼素(BP)系化合物半導体層から構成する。電流狭窄型のLD、或いは電流阻止層の形成を意図するならいざ知らず、開口部を有する透光性オーミック電極を設けるためのコンタクト層との伝導型は、上部クラッド層のそれと一致させる。p型オーミック電極を設けるためのGaN系化合物半導体からなるp型コンタクト層のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ から $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の範囲であるのが適する。一方、燐化硼素からp型コンタクト層を形成する場合、キャリア濃度は、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上で、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下であるのが好適である。層厚は、何れの材料からなるコンタクト層でも、0.1 μm 以上で1 μm 以下とするのが適する。

【0031】

下部及び上部クラッド層に付帯させて設けた、伝電型を反対とするコンタクト層上には

、正、負何れかの極性のオーミック電極を配置して、発光素子を形成する。Ga N系化合物半導体材料からなるn型コンタクト層上には、アルミニウム (Al)、チタン (Ti)、ニッケル (Ni)、金 (Au)、クロム (Cr)、タングステン (W)、及びバナジウム (V) などの周知の金属材料からなるn型オーミック電極 (負極) を形成できる。これらの金属或いはその合金材料からなる金属膜を多層に重層させて合計1 μ m程度の厚膜とすれば、台座 (pad) 電極を兼ねるn型オーミック電極を構成できる。逆に、1 nmから100 nmの金属薄膜からは、発光を外部へ透過するに有効となる透光性のオーミック電極を形成できる。

【0032】

p型コンタクト層上のp型オーミック電極 (正極) は、例えば、白金 (Pt)、パラジウム (Pd)、金 (Au) クロム (Cr)、ニッケル (Ni)、銅 (Cu)、及びコバルト (Co) などから構成できる。また、これらの金属膜と、これらの金属膜との重層構造から構成できる。透光性電極をなす金属電極膜の膜厚を薄くすれば、発光の透過率に優れた透光性電極を形成するに有利となる。しかし、電極用の金属電極膜の膜厚を薄くすると、素子駆動電流を通流する際の電気抵抗が増加する、また、電極形成プロセスに於いて、損傷を被り易くなる不都合を生ずる。このため、透光性電極をなす金属膜或いは合金膜は、発光層からの発光に対して30%から80%の範囲の透過率を与える膜を有するのが好ましい。透光性のp型オーミック電極は、膜厚を1 nm以上で100 nm以下の範囲とする金属膜或いは金属合金膜から構成するのが好ましい。この様な膜厚の金属膜は、高周波スパッタリング法や真空蒸着法などの薄膜形成手段で形成できる。透過性電極の電極を重層構造から形成する場合、重層構造の合計の膜厚はやはり100 nm以下に止めておくのが好ましい。p型Ga N系化合物半導体層上に設けるp型オーミック電極にあつて、そのGa N系半導体層の表面に接触する部位は、最終的に金 (Au) またはその合金膜から構成されているのが好ましい。

【0033】

また、金属酸化物膜を電極の構成要素とすることにより、発光の透光性をより向上させたp型オーミック電極を形成できる。透光性に優れたp型オーミック電極を構成するに寄与できる金属酸化物として酸化ニッケル (NiO; 必ずしも組成比は正確に1:1とは限らない。) や酸化コバルト (CoO; 必ずしも組成比は正確に1:1とは限らない。) を例示できる。これらの金属酸化物膜は、Ga N系或いは磷化硼素系化合物半導体コンタクト層の表面に接触させて設けた金 (Au) 膜或いは金属合金膜の上に積層されて設けられているのが望ましい。この様な金属酸化物膜を含む重層構造の電極は、予め、Au層と、NiまたはCoの層とを、順次、積層させておき、次に、その積層体を、酸素を含む雰囲気中で酸化すれば作製できる。或いはまた、積層順序を逆にして、Ni膜またはCo膜を先に被着させ、次にAu膜を積層して、酸化処理を及ぼしても、最終的には、コンタクト層側に接触する側をAu層とし、その上層をNiまたはCoの酸化物層とする透光性電極を形成できる。これは、NiやCo等の遷移金属は、金 (Au) に比較すれば、酸化され易く、且つ拡散し易いことに起因していると想到される。

【0034】

それ自体、発光層からの発光を透過する金属膜から構成した透光性電極は、発光を外部へ取り出す方向に在るコンタクト層の表面の略全面に一樣に設けても構わないが、発光層から出射される発光を吸収せずに透過する作用を発揮する開口部 (開孔部) を設けた透光性電極とすると、発光をより効率的に外部へ取り出すに効果を上げられる。開口部を有する透光性電極は、例えば、選択パターンニング技術手段と選択エッチング技術手段を応用して、透光性電極の特定の部位に限り、電極を構成する金属膜を除去して形成する。例えば、平面形状を円形、楕円形、或いは多角形状とする開口部を、規則的に設ければ、網 (net) 状に残置された透光性金属膜からなる透光性電極が形成される。また、平面視四角形、長方形や菱形の開口部を位置的に規則的に設ければ、格子状の透光性電極を形成できる。また透光性電極の別の平面形状として、帯状部と、そこから分岐した細線部とから構成される櫛状、結線用途の台座電極から放射状に延在させた帯状部からなる放射状パターン

、或いは同心円状形状を例示できる。

【0035】

何れの平面形状の透光性電極にあっても、開口部は、コンタクト層を経由して、発光層の全面へ均等に素子駆動電流を拡散できる様に設ける必要がある。このため、開口部以外の領域は、互いに連結されて電氣的に導通されている必要がある。本発明の透光性電極は、開口部以外に残置された電極部位も発光を透過できる金属薄膜層から形成されているために、それ自体、透光性に優れるものとなっているが、加えて開口部を設けているために更に、発光を外部へ透過する機能を備えたものとなっている。開口部が閉める平面積を大とすれば、透過性が増大し、高強度のGaN系半導体発光素子を構成するに優位であるが、逆に、電極の敷設された領域が減少するため、素子駆動電流を拡散できる領域が減少する。従って、開口部の占める表面積的な比率は、素子駆動電流を十分に平面的に拡散でき、尚且つ、発光の高い透過性を維持するために、コンタクト層の表面積に対して30%から80%とすることが望ましい。

【0036】

また、開口部を有する様に加工された透光性電極にあつて、オーミック電極をなす残置された金属膜の最小の水平幅（横幅）と、開口部の水平幅とを適正とすることで、外部への発光の取り出し効率を向上させられる。金属膜の水平幅とは、相対して隣接する開口部に挟まれて存在する電極金属膜の幅である。換言すれば、対向する開口部間の距離である。開口部の水平幅とは、円形の開口部では直径であり、方形、多角形にあつては、最長の対角線の長さである。オーミック電極をなす金属膜の最小の水平幅は、 $10\mu\text{m}$ 以下であるのが好適である。更に、望ましくは、 $3\mu\text{m}$ 以下であり、 $0.5\mu\text{m}$ 以上である。電子線リソグラフィ技術を応用すれば、 $0.5\mu\text{m}$ 未満の例えば、 $0.25\mu\text{m}$ の微細幅の金属膜にも加工できるが、このような微細線は、こと大電流を通流して動作させる、例えば、一辺の長さを 0.5mm 以上とする大型LEDのオーミック電極を構成するには、不適である。通流抵抗が高くなっている上に、例えば、 100mA を超える大電流を通流するために、金属膜が過度に加熱され、断線する恐れが大きいからである。また、開口部の水平幅は、最大で $50\mu\text{m}$ 以下、より望ましくは $20\mu\text{m}$ 以下、更に好ましくは $8\mu\text{m}$ 以下であり、安定した精度で開口部を加工するためには $0.5\mu\text{m}$ 以上であるのが好ましい。

【0037】

そもそも、それ自体、発光の透光性を有する本発明の透光性の電極には、その一部の領域に、素子駆動電流を供給するための導線を、直接、結線することができる。従来では、透光性電極の一部を除去して、コンタクト層等を露出させ、その露出させた半導体層上に結線用の台座（pad）電極を敷設し、そこに結線するのが一般的となっている。一方、本発明の透光性電極には、上記の如く開口部が設けられており、その開口部に導線を埋め込めば、台座電極を設ける必要も無く、また台座電極へ結線する必要も無く、透光性電極へ素子駆動電流を直接に、しかも簡便に供給できる。この際、開口部は、周囲に残置された透光性金属膜電極に囲まれた窪地となっているため、凹地を目掛けて圧着されたワイヤ（wire）導線は周囲の金属膜電極材料により強固に固着される。

【0038】

導線を固着させて設ける開口部は、透光性電極に設けられたどの開口部であっても構わないが、反対の極性を有するオーミック電極と出来るだけ遠距離に在る開口部に結線させるのが好適である。例えば、平面視で正方形のGaN系化合物半導体素子の場合、正方形の一頂点に在る一方のオーミック電極に対し、それに対向して、素子の対角線上にある他方のオーミック電極の何れかの開口部に結線を施す。また、例えば、一つの辺の中点近傍に設けられた一方のオーミック電極に対し、その辺と対向する辺の中点近傍の領域に在る開口部に結線をする。また、一頂点の近傍の領域に設けた一方のオーミック電極に対し、その頂点を形成しない辺に沿った開口部に結線を施す。また、一方のオーミック電極の敷設位置に拘わらず、透光性電極の略中央部に在る開口部に結線を施しても良い。何れの位置の開口部を利用しても、従来技術の如く、形成した透光性電極の一部をわざわざ除去して台座電極を設置する必要は無く、簡易に結線を施せる利点がある。その露出したコンタ

クト層の表面を利用して密着性に優れる台座電極を形成できる利点がある。

【0039】

本発明の構成からなる透光性の金属薄膜からなる透光性のオーミック電極を、発光の取り出し方向に配置するに加えて、結晶基板の裏面に、発光を、上面或いは側面外部側へより反射鏡を設けることとすると、外部への発光の取り出し効率に優れる GaN 系化合物半導体発光素子を形成できる。裏面とは、発光素子用途の積層構造体を形成するのとは反対側にある基板の表面である。発光層からの発光を透過する光学的に透明な結晶を基板とした場合、裏面に反射膜を設けることにより、外部への発光の取り出し効率を、より顕著に増加させられる。発光を外部へ反射させるに適する反射膜は、銀 (Ag)、白金 (Pt)、ロジウム (Rh)、及びアルミニウム (Al) などからなる金属膜を利用して形成することができる。

【0040】

特に、透光性オーミック電極を構成する金属、その合金と同一の材料から金属膜を利用して反射鏡を構成することとすると、工程的に簡便に外部への発光の取り出し効率に優れる GaN 系化合物半導体発光素子を形成できる。例えば、パラジウム (Pd) やロジウム (Rh) または白金 (Pt) 等を金属膜は、透光性電極及び反射鏡を構成するに共通する材料として好適に利用できる。また、この様な金属膜を利用して構成した多層構造の反射膜も発光を外部への反射できる反射鏡として有益となる。多層構造の反射鏡にあって、透光性電極を構成するのと同じ材料からなる金属膜を、結晶基板の裏面に直接、被着させて設けると、即ち、透光性電極と対向する様に設けると、反射効率に優れる多層構造反射鏡を構成するに優位となる。多層構造となして、多重に発光を反射させることにより外部への発光の反射効率を向上させられるからである。多重構造の反射鏡を構成する各金属膜の膜厚は、発光層から出射される発光の波長の長短に応じて変化させる。より長い波長の発光を反射させる場合には、膜厚のより厚い金属膜をもって、多層構造の反射鏡を構成する。多層構造の反射鏡を構成するに好適な金属膜の膜厚は、発光波長 ($=\lambda$) の $\lambda/4$ で与えられる。

【0041】

本発明は、層内に、部分的に、層厚が薄い領域と、厚い領域とを含む不均一な層厚の井戸層を含む量子井戸構造の発光層は、高い強度の発光をもたらす作用を有する。

【0042】

不純物がドーピングされた障壁層を備えた量子井戸構造の発光層は、順方向電圧を低下させる作用を有する。

【0043】

量子井戸構造の発光層からの発光を外部へ取り出す方向に設けた透光性電極に設けられた開口部は、発光層からの発光を吸収せずに、外部へ取り出す作用を果たす。また、凹部となった開口部は、其処に圧着された導線を、周囲に残置されたオーミック性金属膜とともに固着するに優位に作用する。

【0044】

結晶基板の裏面に設けた、透光性オーミック電極を構成する金属膜と同一の材料からなる金属膜、或いは同一の材料からなる金属膜を含む金属反射鏡は、発光を外部へ効率的に反射させる作用を発揮する。

【実施例】

【0045】

(実施例 1)

本発明に係わる発光半導体素子の一例は、図 2 の断面図で示すような、サファイア基板上に、AlN をバッファ層として、アンドープの GaN、n 型 GaN コンタクト層、n 型 InGa_{0.5}N クラッド層、InGa_{0.5}N 井戸層と Si をドーピングした GaN 障壁層からなる多重量子井戸構造を持つ活性層、p 型 AlGa_{0.5}N クラッド層、p 型 GaN コンタクト層を順に積層した半導体基板の p 型 GaN コンタクト層上に、Au からなる第 1 の層、Ni の酸化物からなる第 2 の層を、格子状のパターンで形成した発光素子である。また図 1 は、図 2

で示した発光半導体素子の平面図である。

【0046】

この構造において、n型Ga_{0.9}N_{0.1}コンタクト層のキャリア濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ とし、膜厚は2 μm とした。また、活性層のGa_{0.9}N_{0.1}障壁層にはSiを $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度ドーピングした。また、p型Ga_{0.9}N_{0.1}コンタクト層のキャリア濃度は $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ とした。

【0047】

また、透光性電極のパターンは、図2に示したような格子状とした。開口部の幅は7.5 μm 、細線部の幅は3 μm であり、全体の比率に対する開口部の面積は50%程度である。また、単位面積あたりの「縁」の長さは、0.27 μm である。

【0048】

図1、図2に示した発光半導体素子用透光性電極は、次の手順で作製した。初めに、公知のフォトリソグラフィ技術及びリフトオフ技術を用いて、p型Ga_{0.9}N_{0.1}層上の透光性電極を形成する領域にのみ、Auからなる第1の層およびNiの酸化物からなる第2の層を形成した。第1の層および第2の層の形成では、まず、半導体基板を真空蒸着機に入れ、p型Ga_{0.9}N_{0.1}層上に圧力 $3 \times 10^{-6} \text{ Torr}$ において初めにAuを7.5 nm、続いて同じ真空室内でNiを5 nm蒸着した。AuとNiを蒸着した基板は、真空室から取り出した後、通常リフトオフと呼ばれる手順に則って処理し、図2に示す形状の薄膜を形成した。このようにしてp型Ga_{0.9}N_{0.1}層上には、Auからなる第1の層とNiからなる第2の層とからなる薄膜が形成された。この薄膜は金属光沢を呈する暗灰色であり、透光性はほとんど見られなかった。次に、この基板をアニール炉において熱処理した。熱処理は、温度を450℃とし、雰囲気ガスとして、5%の酸素ガスを含む窒素を流通して、10分間処理した。取り出した基板の透光性電極は、青味をおびた暗灰色で、透光性を示していた。なお、この熱処理は電極と半導体とのオーミック接触を得るための熱処理も兼ねていた。

【0049】

続いて、公知のフォトリソグラフィ技術を用い、半導体側からTi/Au/Ti/Au層構造よりなるp側電極ボンディング用パッドを形成した。ボンディングパッドを形成する部分には、切り欠き部を持つパターンを用いた。

【0050】

上記の方法により作製した透光性電極の波長470 nmの光における透過率は60%であった。なお、透過率は、上記と同じ透光性電極を透過率測定用の大きさに形成したもので測定した。

【0051】

続いて、ドライエッチングによってn電極を形成する部分のn層を露出させ、p側電極の形成に続いて、露出した部分に半導体側からTi/Auよりなるn側電極を形成した。

【0052】

このようにして電極を形成したウエハを、裏面を研削、研磨することにより80 μm まで全体の板厚を薄くして、レーザスクライバを用いて積層構造側から罫書き線を入れたあとで、ブレークをして、350 μm 角のチップに切断した。続いてこれらのチップを、リードフレーム上に載置し結線して発光ダイオードとした。電流20 mAにおける発光出力が5 mW、順方向電圧は2.9 Vを示した。通電発光している状態の透光性電極を顕微鏡により観察したところ、各チップの透光性電極の発光は均一であった。

【0053】

(比較例1)

実施例1と同じ積層構造において、nコンタクト層のキャリア濃度を $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、活性層の障壁層にはSiをドーピングせず、pコンタクト層のキャリア濃度を $8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ としたものを用いた。

この半導体積層構造基板の上に、実施例1と同じ手法により同じパターンの電極を作製したところ、電流20 mAにおける発光出力が5 mWであったが、順方向電圧は4.0 Vを

示した。

【0054】

(実施例2)

実施例2では、実施例1と同じチップの裏面に、Alからなる反射膜を形成した。反射膜は、切断の終わったチップを裏面が上に来るように粘着性のビニールシートに転写し、これを蒸着機の中へ入れてAlを蒸着することで形成した。電流20mAにおける駆動電圧は2.9Vと実施例1と変化なく、出力は10mWと増加した。

【0055】

(実施例3)

実施例3では、実施例1と同じ積層構造を持つウエーハに、NiをCoに置き換える以外は全く同じ手順で、Au/CoOからなる構造の電極を作製した。電流20mAにおける駆動電圧は2.95Vと実施例1とほぼ同じであり、出力は5mWであった。この実施例に用いた格子状の透光性電極のパターンには、ボンディングパッドを設けるための切り欠き部を設けないデザインのマスクを用いたが、ボンディング性には問題はなかった。

【0056】

(実施例4)

実施例4では、n型GaNコンタクト層のキャリア濃度は $6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とし、膜厚は $3 \mu\text{m}$ 、活性層はGaN井戸層に膜厚3nmの厚膜部と膜厚1.5nm以下の薄膜部を持つ多重量子井戸構造とし、また、p型GaNコンタクト層のキャリア濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ とした以外は、実施例1と同じ積層構造を持つウエーハに、全く同じ手順で、Au/NiOからなる構造の電極を作製した。電極のパターンを変え、図3に示すようなくし型のパターンを用いた。電流20mAにおける駆動電圧は3.3Vであり、出力は6mWであった。

【0057】

(実施例5)

実施例5では、実施例1と同じ積層構造を持つウエーハに、全く同じ手順でスパッタを用いて0.5nmの膜厚を持つPtからなる電極を作製した。電極のパターンを、図4に示すような蜘蛛の巣型のパターンとした。電流20mAにおける駆動電圧は3.1Vであり、出力は6mWであった。

【図面の簡単な説明】

【0058】

【図1】 実施例1、2、3に係わる電極の形状の平面図を示す。

【図2】 実施例1、2、3に係わる電極の積層構造の断面図を示す。

【図3】 実施例4に係わる電極形状の平面図を示す。

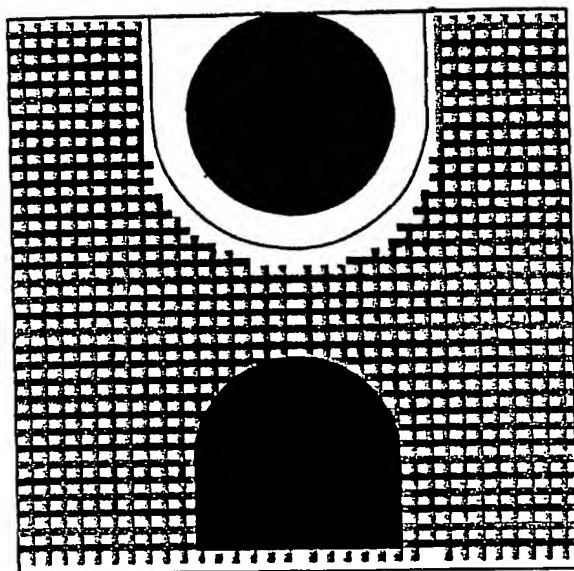
【符号の説明】

【0059】

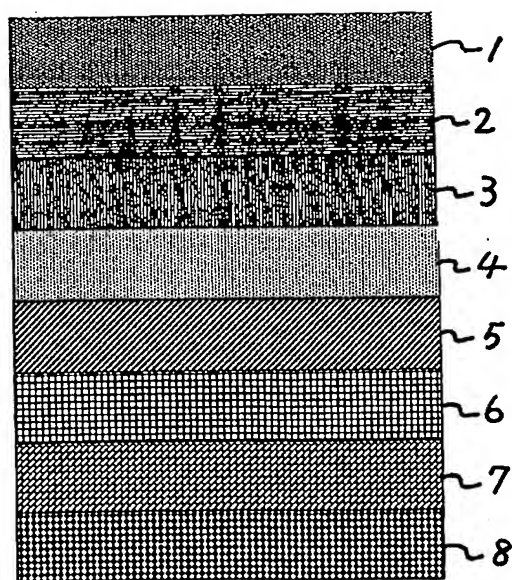
- 1 pコンタクト層
- 2 pクラッド層
- 3 活性層
- 4 nクラッド層
- 5 nコンタクト層
- 6 下地層
- 7 AlN層
- 8 基板

【書類名】図面

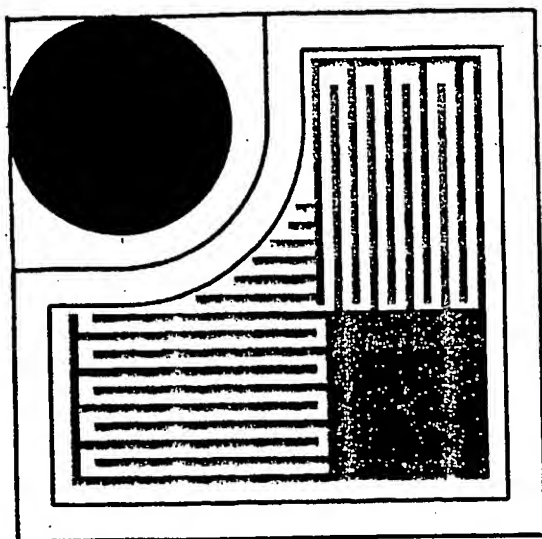
【図1】



【図2】



【図 3】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 高強度の発光をもたらす構成からなる量子井戸構造の発光層を備えた GaN 系化合物半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 窒化ガリウム系化合物半導体からなる障壁層と井戸層とから構成される量子井戸構造の発光層と、発光層に駆動電流を供給するオーミック電極を設けるための II-V 族化合物半導体からなるコンタクト層を有し、コンタクト層上にはコンタクト層の一部の領域を露出する開口部のあるオーミック電極を有し、オーミック電極は発光層からの光に対して透光性を有し、井戸層はその層内で部分的に膜厚の厚い領域と薄い領域を有する窒化ガリウム系化合物半導体から構成する。

【選択図】 図 1

特願 2004-022668

出願人履歴情報

識別番号

[000002004]

1. 変更年月日

1990年 8月27日

[変更理由]

新規登録

住所

東京都港区芝大門1丁目13番9号

氏名

昭和電工株式会社